

# 多軸全身・多軸手腕振動ばく露における人体への心理・生理影響の評価方法に関する研究

Effect of Multi-axis Whole-body Vibration and Hand-arm Vibration on Psychological and Physiological Responses

柴田 延幸\*<sup>1</sup> 人間工学・リスク管理研究グループ

■SHIBATA Nobuyuki

平成 21 年、欧州各国で導入されている手腕振動ばく露作業の作業管理方法にならう形で、我が国も一日当たり（8 時間相当）等価振動ばく露量の考え方にもとづいて手腕振動ばく露作業の作業管理を行う方式に移行した。一方、全身振動ばく露に関しては、通達等で座位姿勢における過度の全身振動ばく露の有害性および同振動ばく露低減のための対策とその推進について定性的な指導が行われているにすぎない。将来的には、欧州諸国にならって全身振動ばく露作業従事者の作業・健康管理を全身振動ばく露量にもとづいて行う可能性が考えられるが、手腕・全身振動いずれのばく露評価の場合もその根拠となる周波数補正曲線自体の問題点が指摘されており、これらを規定している国際規格の改正が検討されている。

本研究では、我が国がこれらの振動ばく露評価法を参照しながら振動ばく露作業従事者の振動ばく露量のモニターおよび作業管理をしていく上での注意すべき問題点を明らかにした。また、この問題点を克服するための方法の一つとして、手腕振動ばく露の評価に対して人体が吸収する振動エネルギーにもとづいた影響係数曲線を提案した。

## 1 はじめに

欧米各国では、全身および手腕振動ばく露による健康影響評価を考える上で、一日当たりの等価振動ばく露量という考え方にもとづいて定量的に振動ばく露量进行评估し、振動ばく露作業従事者の健康・作業管理を行うという考え方が主流である。これに対してわが国では、平成 21 年に一日当たり（8 時間相当）等価振動ばく露量を用いた手腕振動ばく露作業の作業管理方法が導入された。現在、手腕振動障害の新規認定患者数は毎年 250 人程度で推移しており、それらの 50%以上が建設作業従事者である。一日当たり（8 時間相当）等価振動ばく露量を用いた手腕振動ばく露作業の作業管理方法の導入により、長期的な視野のもと手腕振動障害の新規認定患者数の減少が期待される場所である。このような状況において、この新しい振動ばく露評価および作業管理方法を用いる上での問題点および留意点を把握し、かつ可能な範囲で改善を図っていくことは重要である。

一方、全身振動ばく露作業に対する健康・作業管理では、基発第 547 号「職場における腰痛予防対策の推進について」および基安安発第 0731004 号「機械の包括的な

安全基準に関する指針の解説等について」等の通達で座位姿勢における過度の全身振動ばく露の有害性および同振動ばく露低減のための対策とその推進について定性的な指導が行われているにすぎない。今後、国際協調のもと、我が国も将来的には全身振動ばく露量にもとづいた全身振動ばく露作業従事者の作業・健康管理へ向かっていく可能性があるが、この新しい振動ばく露評価および作業管理方法を用いる上での問題点および留意点を把握し、かつ可能な範囲で改善を図っていくことは重要である。

## 2 手腕振動ばく露評価における問題点とその改善

一日当たり（8 時間相当）等価振動ばく露量を用いた手腕振動ばく露作業の作業管理方法の持つ問題点として、以前の疫学研究によれば周波数成分の人体への影響の程度と合致しないこと、振動ばく露の方向依存性が考慮されていないこと、手腕姿勢の影響が考慮されていないこと等が指摘されていた。これらの問題点は、同評価方法を用いて作業者の手腕振動ばく露量を推定し、健康影響を評価する上での大きな誤差要因となり得る。本研究ではこれらの誤差要因を改善するために、エネルギー吸収法による手腕振動ばく露に対する人体影響係数を用いた

\*1Human Engineering and Risk Management Research Group,  
National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

評価方法を提案するとともに、実験結果をもとに上述の問題点に関して議論した。

実験用ハンドルを用いた3方向同時加振実験により、各方向における手腕振動の人体影響係数曲線が得られた。この人体影響係数曲線によれば、以下のことが明らかになった。振動ばく露の方向依存性は存在し、人体影響係数は、ほぼすべての周波数帯域で従来の周波数補正係数よりも高い値を示した。前後(z)方向からの手腕振動ばく露に対する人体影響係数は、従来の周波数補正係数にほぼ一致する値を得た。手腕姿勢の影響に関しては、前腕姿勢の変化(回内:前腕を内側にひねり、掌が後ろもしくは下に向く姿勢および回外:前腕を外側にひねり、掌が前もしくは上に向く姿勢)による人体影響係数の差は有意ではなく、肘姿勢の変化(伸展および90°屈曲)により人体影響係数に有意差が認められた。肘屈曲位とすることにより、上下(x)および左右(y)方向からの手腕振動ばく露に対する人体影響係数は、ほぼすべての周波数帯域で従来の周波数補正係数よりも高い値を示した。肘伸展位における人体影響係数は、従来の周波数補正係数よりもほぼすべての周波数帯域で低い値を示した。

これらの結果をもとに、実際の手持ち振動工具の中から使用時の手腕姿勢の自由度が高くなりやすい小型・軽量の振動工具5種類を選び、実作業時の振動波形を測定して人体影響係数および従来の周波数補正係数による補正加速度実効値の比較および振動ばく露作業限界時間の比較を行った。その結果、肘伸展位を除いて人体影響係数にもとづいた補正加速度実効値の方が従来の補正加速度実効値よりも大きな値を示し、それに応じて一日当たりの振動ばく露限界時間も0.5倍から0.7倍程度に短くなることが示された。

---

### 3 全身振動ばく露評価における 問題点とその改善

---

現在わが国では、座位姿勢における全身振動ばく露作業について、同一姿勢による長時間ばく露の有害性および振動ばく露低減のための対策とその推進についての定性的な指導にとどまっている。しかしながら、手持ち振動工具の取扱いにおける一日当たりの等価振動ばく露量にもとづいた手腕振動ばく露の評価と作業管理の導入にとまない、同様の評価方法が全身振動ばく露をとまなう作業に対しても導入される可能性がある。本研究では、同方法が抱える問題点である性別差、振動ばく露の方向依存性、着座時の背もたれ角度等の影響について調べた。

心理的主観応答の観点から性別差および振動ばく露の方向依存性および姿勢(着座・立位)の影響を調べた結果、有意な性別差が認められた。具体的には、立位姿勢の場合、女性は方向に依存せず中程度の振動ばく露までは男性よりも寛容であり、座位姿勢の場合、女性は前後・左右方向の振動ばく露に対して男性よりも寛容であり、鉛直方向の振動に対しては強い振動に対してのみ鋭敏であった。振動ばく露の方向依存性についても有意差が認められ、性別に関係なく立位姿勢の場合には鉛直方向の振動ばく露に対して敏感であり、座位姿勢の場合には前後方向の振動ばく露に対して敏感であった。

また、全身振動ばく露の典型である座位姿勢に特化して、動力学的応答の観点から座席背もたれ角度の影響を調べた。その結果、人体に吸収される振動パワーにもとづいた評価によると、座席背もたれ角度が10°以上30°未満の範囲が腰痛等防止の観点から望ましいことが示された。また、ばく露する振動スペクトルの周波数幅が広い場合、座席背もたれ角度を上記の範囲内に設定した時に、吸収される振動パワーをより効果的に減少させる可能性があることが示された。このことから、全身振動ばく露の原因となる車両の振動スペクトルの周波数幅によって、座席背もたれ角度を変化させたことによる脊柱および脊柱周辺筋肉への動的負荷の軽減の程度に差が生じることが示唆された。

## 研究業績リスト

課題名：多軸全身・多軸手腕振動ばく露の人体への心理・生理影響の評価方法に関する研究

平成23年度(2011年)		
1	原著論文	Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2011) Posture-related change in frequency weightings derived from vibration power absorption of the hand-arm system. Canadian Acoustics, 39(2), p.98-99.
2		Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2012) Gender difference in subjective response to whole-body vibration under standing posture. Int. Arch. Occup. Environ. Health., 85(2), p.171-179.
3	国内外の研究集会発表	William Baker, Neil Mansfield, Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2011) Activity Interference during exposure to whole-body vibration: seated and standing individuals. Proceedings of International Conference on Ergonomics & Human Factors 2011, CD-ROM.
4		Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2011) Posture-related change in frequency weightings derived from vibration power absorption of hand-arm system. Proceedings of 12th International Conference on Hand-arm Vibration, CD-ROM.
5		Nobuyuki Shibata (2011) VPA-based evaluation of vibration attenuation performance of gloves. Proceedings of 19th Japan Conference on human Response to Vibration, p.9-14.
6		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2011) Does hand-arm vibration influence a sense of time? Proceedings of 19th Japan Conference on human Response to Vibration, p.1-8.
7		Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2011) Effect of direction and arm posture on frequency weightings derived from power absorption of hand exposed to tri-axial random vibration. Proceedings of the 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise2011), CD-ROM.
8		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2011) Audio-visual stimulation mitigates discomfort from whole-body vibration. Proceedings of the 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise2011), CD-ROM.
平成22年度(2010年)		
1	原著論文	Nobuyuki Shibata, Setuo Maeda (2010) Determination of backrest inclination based on biodynamic response study for prevention of low back pain. Med Eng & Phys 32, p.577-583.
2		Santosh Mandapuram, Subhash Rakheja, Paul-Emile Boileau, Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2010) Apparent mass and seat-to-head transmissibility responses of seated occupants under single and dual axis horizontal vibration. Ind. Health 48, p.698-714.
3	国内外の研究集会発表	Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2010) Gender difference of subjective responses to whole-body vibration under standing posture. Proceedings of 3rd American Conference on Human Vibration, p.82-83.
4		Neil J. Mansfield, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2010) Effect of gripping in a trigger posture on apparent mass of the hand-arm system. Proceedings of 3rd American Conference on Human Vibration, p.43-44.
5		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2010) Effects of whole-body vibration on the perceived duration of a visual stimulus presentation. Proceedings of 3rd American Conference on Human Vibration, p.84-85.
6		Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda (2010) Effect of high frequency content on biodynamic responses to vertical whole-body vibration exposure. Proceedings of the 18th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.128-135.

7		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2010) Effects of whole-body vibration on duration judgment of empty interval. Proceedings of the 18th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.111-118.
8		Kazuma Ishimatsu, Yumiko Sakamoto, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2010) Effect of audio-visual stimulation on whole-body vibration perception: A pilot study on multi-modal sensation. Proceedings of the 18th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.143-148.
9		柴田延幸, 石松一真, 前田節雄 (2010) 有限要素法による動的荷重に対する指先の力学的応答解析. 日本機械学会山梨講演会講演論文集, p.72-73.
10		直井朋美, 柴田延幸, 前田節雄, 大石久己 (2010) 全身振動曝露における不快適性主観評価に性別差が及ぼす影響. 日本機械学会関東支部第16期総会講演会講演論文集, p.243-244.
<b>平成21年度 (2009年)</b>		
1	原著論文	Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2009) Effects of whole-body vibration on visual information processing. Japanese Journal of Psychonomic Science 28, p.179-180.
2	国内外の研究集会発表	Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda, Kazuma Ishimatsu (2009) Determination of seat back angle based on biodynamic response study for prevention of low back pain. Proceedings of 4th International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, p.39-40.
3		Nobuyuki Shibata, Masahito Hara, Setsuo Maeda, Kazuma Ishimatsu (2009) Acute effects of whole-body vibration exposure on center of gravity agitation. Proceedings of 17th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.96-100.
4		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu (2009) Minimization of temporary threshold shifts (TTS) at assembly line hand-held tool work using Queuing theory. Proceedings of 17th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.78-86.
5		Yumiko Sakamoto, Mark Allman-Ward, Poger Williams, Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2009) Reproduction of multi-modal sensation on 6-degree-of-freedom vibrator and NVH simulator. Proceedings of 17th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.116-119.
6		Santosh Mandapuram, Subhash Rakheja, Paul -É. Boileau, Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2009) Apparent mass and seat-to-head transmissibility responses of seated occupant to single and dual-axis horizontal vibration. Proceedings of 4th International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, p.33-34.
7		Masahito Hara, Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu (2009) Effects of whole-body vibration exposure from vehicle seats on center of gravity agitation. Proceedings of 4th International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, p.83-84.
8		Yumiko Sakamoto, Masakazu Ozaki, Allman-Ward, Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2009) Multi-modal simulator at JNIOOSH. Proceedings of 4th International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, p.91-92.
9		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu (2009) Psychovibration studies on assessment of time-variant whole-body vibration exposure. Proceedings of 4th International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, p.115-116.
10		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2009) Effects of exposure to whole-body vibration on psychological time. Proceedings of 4th International Conference on Whole Body Vibration Injuries, p.13-14.

11		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2009) Subjective judgment of duration and discomfort ratings during exposure to whole-body vibration. Proceedings of 17th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.101-106.
12		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2009) Time perception during exposure to whole-body vibration. Proceedings of 44th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration, p.179-187.
13		柴田延幸, 前田節雄, 石松一真(2009)多軸振動下における手腕-ハンドル系の周波数応答解析-前腕回内外の影響-. Dynamics and Design Conference 2009 アブストラクト集, p.223.
14		石松一真, 柴田延幸, 前田節雄(2009)全身振動への曝露が心理的時間に及ぼす影響. 日本基礎心理学会第28回大会, 大会プログラム, p.31.
15		石松一真, 柴田延幸, 前田節雄(2009)全身振動曝露環境下における時間知覚. 関西心理学会第121回大会, 発表論文集, p.52.
16		坂本優美子, Mark Allman-Ward, Roger Williams, 石松一真, 柴田延幸, 前田節雄(2009)NVHシミュレータによるマルチモーダル評価環境の実現. 自動車技術会学術講演会前刷集No.100-09, p.5-8.
17		石松一真, 柴田延幸, 前田節雄(2009)全身振動が標的色弁別パフォーマンスに及ぼす影響. Technical Report on Attention and Cognition, No.3, p.1-2.
18	その他(表彰/報道等)	石松一真, 柴田延幸, 前田節雄: 日本基礎心理学会第27回大会優秀発表賞. 全身振動への曝露が視覚情報処理パフォーマンスに及ぼす影響, 2009年1月.
<b>平成20年度(2008年)</b>		
1	原著論文	Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2008) Subjective scaling of hand-arm vibration. Ind Health 46, p.118-124.
2		Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Effect of tool handle diameter on temporary threshold shift (TTS) of vibrotactile perception. International Journal of Industrial Ergonomics 38, p.697-702.
3		Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Vibration-isolating performance of cotton work gloves based on newly issued JIS T8114. Industrial Health 46, p.477-483.
4		Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Establishment of hand-arm vibration system and its application to biodynamic response measurement for Japanese subjects. Industrial Health 46, p.629-634.
5		Setsuo Maeda, Neil J. Mansfield, Nobuyuki Shibata (2008) Evaluation of subjective responses to whole-body vibration exposure: Effect of frequency content.. International Journal of Industrial Ergonomics 38, p.509-515.
6		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2008) Temporary threshold shifts (TTS) of fingertip vibrotactile perception thresholds from hand-held tool vibration exposures at working surface. International Journal of Industrial Ergonomics 38, p.693-696.
7	国内外の研究集会発表	Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Comparison between biodynamic response parameters of the same subject obtained from two different vibration systems. Proceedings of 2nd American Conference of Human Vibration, p.95-97.
8		Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Effect of forearm supination or pronation on biodynamic response of human hand. Proceedings of 15th International Congress on Sound and Vibration, in CD-ROM.
9		Nobuyuki Shibata, Setsuo maeda (2008) Acute effect of hand-arm vibration on sensory nerve conduction velocity in hand - forearm rotation -. Proceedings of 16th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.43-50.

10		Nobuyuki Shibata, Setsuo maeda (2008) Effect of forearm rotation on biodynamic response to human hand. Proceedings of 16th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.51-58.
11		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu (2008) Comparison of vibrotactile perception threshold between ISO 6954 and stationary spectrum whole-body vibration according to the frequency-weighted curve Wm. Proceedings of 16th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.59-66.
12		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Target detection and discrimination under whole-body vibration. Proceedings of 16th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.101-105.
13		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu (2008) Ride comfort evaluation using vibration greatness method. Proceedings of 16th Japan Conference on Human Vibration, p.117-125.
14		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuma Ishimatsu (2008) 12 Axes vibration data on the different kinds of vehicle seats based on ISO2631-1. Proceedings of 16th Japan Conference on Human Vibration, p.154-159.
15		Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Formulation and measurement of biodynamic responses at hand under tri-axial vibration. Proceedings of 43rd UK Conference on Human Response to Vibration, p.278-286.
16		Kazuma Ishimatsu, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2008) Does cognitive performance deteriorate after exposure to whole-body vibration ?. Proceedings of 43rd UK Conference on Human Response to Vibration, p.109-116.
17		石松一真, 柴田延幸, 前田節雄(2008) 全身振動への曝露が視覚情報処理パフォーマンスに及ぼす影響. 日本基礎心理学会第27回大会, 大会プログラム, p.70.
<b>平成19年度(2007年)</b>		
1	国内外の研究集会発表	Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2007) Acute effect of exposure to hand-arm vibration on sensory nerve conduction velocity in digit. Proceedings of 11th International Conference on Hand-Arm vibration, p.251-258.
2		Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda (2007) Gender difference in psychological evaluation of subjective responses to different-axis whole-body vibration. Proceedings of 3rd National Conference on Human Vibration, p.425-431.
3		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Daniel E. Welcome, Ren G. Dong (2007) Effect of coupling action on temporary threshold shift (TTS) of vibrotactile perception. Proceedings of 11th International Conference on Hand-Arm vibration, p.287-294.
4		Yoko Aiba, Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuhiro Ikeda (2007) Evaluation of gender difference in subjective responses to hand-arm vibration by category judgment method. Proceedings of 11th International Conference on Hand-Arm vibration, p.295-302.
5		Tony Keller, Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2007) Hand-arm vibration test bench. Proceedings of 11th International Conference on Hand-Arm vibration, p.335-340.
6		Kazuhiro Ikeda, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda, Yoko Aiba (2007) Pitfalls of frequency weighting methods to evaluate the human response to hand-arm vibration. Proceedings of 11th International Conference on Hand-Arm vibration, p.433-439.
7		Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2007) Subjective scaling of hand-arm vibration. Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.87-94.

8	Yoko Aiba, Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata, Kazuhiro Ikeda (2007) Evaluation of gender difference in subjective responses to hand-arm vibration by category judgment method. Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.95-102.
9	Setsuo maeda, Nobuyuki Shibata (2007) Example of problem of hand-held tool vibration evaluation. Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.113-118.
10	Kazuhiro Ikeda, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda, Yoko Aiba (2007) Evaluation of subjective responses to hand-arm vibration exposure: effect of frequency content. Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.119-124.
11	Setsuo maeda, Nobuyuki Shibata (2007) Problems of A(8) evaluation. Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration, p.158-164.
12	Setsuo Maeda, Nobuyuki Shibata (2007) Subjective scaling of human responses to multi-axis whole-body vibration. Proceedings of 36th International Congress & Exhibition on Noise Control Engineering (Internoise2007), in07_344 in CD-ROM.